宁夏生态移民安置区人地耦合系统脆弱性分析①

苗　红， 贾　菲， 耿一睿， 孔云霄， 邓慧丽
（宁夏大学资源环境学院，宁夏　银川　750021）

摘　要： 基于2016年农户访谈和调查数据，依托脆弱度整合评价模型（VSD）从暴露度、敏感性、适应能力3个层次共选取了29个指标，构建了宁夏生态移民安置区人地耦合系统脆弱性评价指标体系，使用熵权法、综合指数法及函数模型评价法评价和分析其脆弱程度、特征和空间分异，并借助障碍度模型对脆弱性障碍因子进行了识别。结果表明：（1）宁夏生态移民脆弱性呈现明显的“级差化”分异特征，平均脆弱性指数为0.151 1，总体处于较强脆弱状态。（2）宁夏生态移民人地耦合系统整体较为脆弱，表现为：中部干旱带＞北部引黄灌区＞南部山区，在空间上呈现“中部高南北低”的地域分布特征。暴露度表现为：南部山区＞中部干旱带＞北部引黄灌区；敏感性表现为：中部干旱带＞北部引黄灌区＞南部山区；适应能力表现为：南部山区＞北部引黄灌区＞中部干旱带。（3）成年劳动力受教育程度、家庭成年劳动力职业技能水平、是否参与社区建设和社区管理、能否获得贷款机会、对土地质量满意度（温棚）和家庭借贷金额等是影响宁夏生态移民安置区人地耦合系统脆弱性的主导因素。

关 键 词： 生态移民；脆弱性；人地耦合系统；宁夏回族自治区
文章编号

人地耦合系统是指人类活动与自然环境通过相互作用而在彼此影响下形成的整合系统，突出人类与自然系统的模式、过程和相互影响，强调多维度的耦合性，体现了更高层次的综合性、复杂性特征[1-2]。脆弱性是指系统及其组成部分暴露在灾害、干扰或压力的情况下受到的影响程度，源于对自然灾害的研究，其研究与评价是人类寻求应对环境变化与可持续发展的有效途径[3]。国外对人地耦合系统脆弱性研究，主要从全球变化和可持续发展2个角度分析[4]。TURNER 等[5]提出了人文—自然生态复合系统脆弱性评估框架，并以墨西哥尤卡坦半岛、雅基河山谷和泛北极地区为例，对人文—自然生态复合系统与环境危机相互耦合关系进行研究，并证实此框架有助于减轻系统的脆弱性；MARINO[6]对阿拉斯加州希什马廖夫环境移民中社区重置的结构脆弱性与阻碍进行了评估和分析。国内则关注中观尺度不同区域经济或社会系统脆弱性评价，如对西部民族地区、河北、三峡库区、东北地区典型矿业、石油城市等资源型城市的社会经济系统的脆弱性、评估模型及脆弱性发生机理与适应能力评价的相关研究[7-11]；微观尺度侧重对少数民族社区、贫困社区、受灾型社区、移民社区和农户生计的脆弱性及适应和调节能力的研究[12-15]。对宁夏人地耦合性系统脆弱性的研究，内容多集中在生态环境脆弱性、社会或经济脆弱性某一方面，空间上集中在宁夏中部干旱带、限制开发区和移民安置区，如对其生态环境、社会经济系统、生计等脆弱性的评价和研究[16-20]。系统性研究较少，仅见宋永永等[21]基于 GIS 和 VSD 模型框架对宁夏限制开发生态区人地耦合系统脆弱性空间分异格局及影响因素的研究。

生态移民安置区是一个特殊的人地耦合系统，探讨其脆弱性是对人地耦合系统的结构与功能进行评价。文章以宁夏生态移民安置区为例，通过 VSD 评估模型评价其在环境急剧变化下的暴露性、敏感性和适应能力，分析其人地耦合系统空间分异特征

① 收稿日期：2019-05-12； 修订日期：2019-09-25
基金项目：国家自然科学基金项目（41461119）资助
作者简介：苗红（1975-），女，博士，教授，硕士生导师，主要从事区域可持续发展和区域旅游开发与规划研究. E-mail：miaohong1101@126.com

及主导因素,旨在探讨减少或者根除脆弱性的应对策略,促进生态移民的可持续发展,减轻不利影响,为宁夏乃至西部地区精准扶贫工作、社会和谐稳定发展提供理论参考。

1 研究区概括

宁夏回族自治区总面积 6.64×10^4 km^2,位于35°14′~39°23′N,104°17′~107°39′E,全区辖5个地级市,22个县、市(区)。按照自然地理环境和社会经济发展水平,可将宁夏划分为北部引黄灌区、中部干旱带和南部山区三大区域。北部引黄灌区地理位置优越,生态环境较好,经济发展水平快;中部干旱带土地资源丰富,光照充足,昼夜温差大,但风蚀沙化、荒漠化、土地盐碱化等现象严重,部分地区人口压力大,人地矛盾十分明显,是宁夏重要的移民迁出区;南部山区隶属六盘山山区,生态环境极其脆弱,经济发展水平落后,也是宁夏生态移民主要迁出区。

宁夏移民工程于20世纪80年代初开始起步,持续至今已有30余年。2000年之前的早期吊庄移民(1983—1992年)和"1236"扶贫扬黄灌溉工程(1994—2000年)(即计划解决 10^6 人脱贫、开发 1.33×10^5 hm^2 土地、投资 3×10^9 元人民币、花6 a时间)主要以扶贫为目标。2000年之后,在生态恢复和扶贫双重目标下,宁夏共进行了三个阶段的大规模生态移民,即:易地扶贫搬迁移民(2001—2007年)、中部干旱带县内生态移民(2008—2012年)、"十二五"中南部地区生态移民(2011—2015年)。移民迁出区涉及同心县、盐池县、原州区、西吉县、隆德县、泾源县、彭阳县、海原县、沙坡头区、中宁县10个县(区)。

1983—2015年间,通过异地安置、就近安置、劳务移民等方式累计搬迁生存条件恶劣地区的人口为 $113.64\times10^4$①。

2 数据及方法

2.1 数据来源

研究数据主要采用参与式农村评估方法(PRA),以农户为单位进行结构性访谈获得。移民村的选取主要考虑4个因素:(1)移民村所在区域经济发展水平,宁夏各市县经济发展水平差异较大,因此在样本村选取时按全区5个地级市,涉及22个县(市、区)分别选取移民安置点。(2)移民村区位,包括村位置、距离区域中心城镇(乡镇、县城)和重要的交通线路的距离。(3)移民安置方式,包括开发土地集中安置、适度集中就近安置、劳务移民无地安置、因地制宜插花安置、特殊人群敬老院安置。因特殊人群敬老院安置方式数量极少,目前集中安置且较成功的仅有隆德县二处敬老院。故选取样本村时只考虑了前4种。(4)民族性质(汉族村、民族村、民族混居村)四方面因素。同时结合各区县移民办的工作人员座谈结果和建议,筛选出了最能反映该区域移民状况的移民村作为样本村,进行入户结构访谈。最终共确定全区范围内75个样本村(安置点)(图1)涵盖了四类不同安置方式的汉族村、民族村和民族混居村,且每一类移民村,在区位良好区和区位非优区都有分布,保证了样本的全面性和代表性。

本调查分为两个阶段进行,第一阶段于2015年12月进行一次预调查,通过对小范围内一些移民群众实际问卷调查、访谈个别村干部以及对移民点设施建设的观察,在对移民村有初步了解的基础上,对所确定的测评指标体系进行验证,以证实其合理性及有效性,根据预调查结果,进一步修改和完善了问卷。第二阶段于2016年5月28日~6月24日进行正式问卷调查②。所有调查对象自1983年吊庄时期移民到"十二五移民"(2010—2015年),2016年开始的十三五移民因政策发生极大变化且时间较短,故调查数据截止到2016年十三五移民之前。共收回调查问卷794份(户),经过汇总并筛选获得有效问卷743份(户),有效率为93.58%,保证了调查问卷的数量和质量,运用SPSS 18.0对数据进行信度和效度分析,信度为0.792,效度为0.714,问卷有效可信。

2.2 指标体系的构建

以宁夏生态移民人地耦合系统脆弱性评价为目标,结合宁夏生态移民生活现状,在遵循脆弱性指标体系的构建原则的基础上,构建了基于VSD模型的指标体系[22-25]。该指标体系由暴露度、敏感性、适

① 数据来源于宁夏"十三五"生态移民报告

② 预调查与正式调查相隔时间较远,原因有三:一是春节期间大部分移民回老家过年,留在安置点过年的只有最早一批且老家无亲友的移民。二是3~4月农忙期间,宁夏南部山区"靠天吃饭"的旱地耕作方式,即春季什么时候下雨什么时候播种铺地膜,秋天去收割,期间放任不管。使得在老家(迁出区)自己或亲友有耕地的,都会去种地;故此期间大部分移民村内人较少,样本容易有偏差。三是6月初为开斋节,民族村内绝大部分农户都在家,其他时间多外出务工、做生意,常驻人口较少

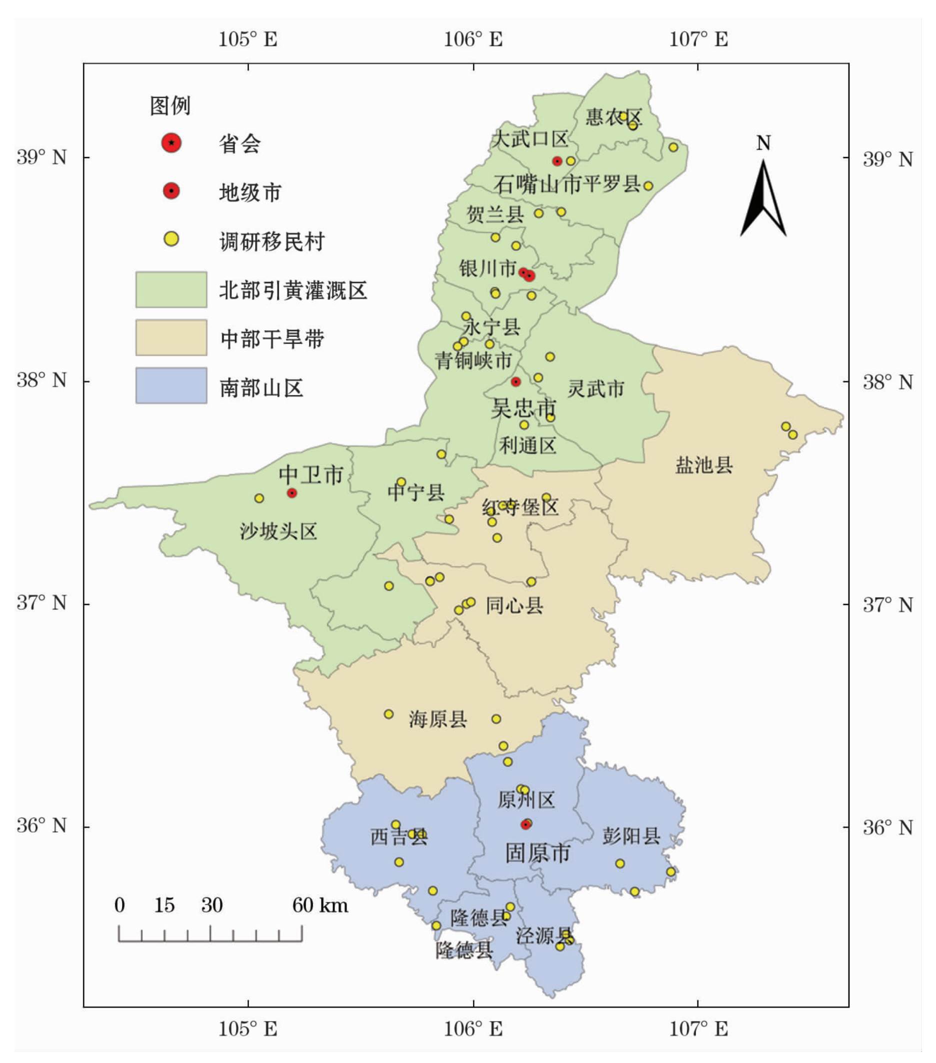


图 1　宁夏生态移民样本村空间分布示意图

Fig. 1　The spatial distribution map of Ningxia ecological immigration sample village

应能力三个层次 29 个指标构成，涵盖移民自身素质、社会保障制度、经济系统、社会系统、生态系统以及移民生计资本等多方面（表 1）。

2.3　数据处理与分析方法

2.3.1　指标权重的确定　采用极差标准化方法对原始指标数据进行标准化处理，若指标数据与系统评价目标成正相关时，即指标数据越大，脆弱性越大则采用正向指标处理；反之，则采用负向指标处理。为了使评价结果更科学合理，本研究运用熵权法来确定指标的权重[26]。具体步骤如下：

（1）采用极差法进行指标的标准化处理。

正向指标：

$$X_{ip}' = \frac{X_{ip} - X_{p\min}}{X_{p\max} - X_{p\min}} \qquad X_{ip}' \in (0,1) \qquad (1)$$

逆向指标：

$$X_{ip}' = \frac{X_{p\max} - X_{ip}}{X_{p\max} - X_{p\min}} \qquad X_{ip}' \in (0,1) \qquad (2)$$

式中：X_{ip}、X_{ip}'分别表示第 i 个移民村第 p 项评价指标的原值和标准化后的数值；$X_{p\max}$、$X_{p\min}$分别为最小值和最大值。

（2）第 i 个移民村第 p 项指标值的比重。其表达式为：

$$Y_{ip} = x'_{ip} / \sum_{i=1}^{m} = x'_{ip} \qquad (3)$$

（3）第 p 项指标的信息熵。其表达式为：

$$e_p = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^{m} (Y_{ip} \times \ln Y_{ip}),\ (0 \leqslant e_p \leqslant 1) \qquad (4)$$

（4）第 p 项指标的权重：

$$w_p = (1 - e_p) / \sum_{p=1}^{n} (1 - e_p) \qquad (5)$$

式中：m 为评价的移民村个数；n 为指标数。通过上

表1　宁夏生态移民人地耦合系统脆弱性评价指标体系

Tab.1　Vulnerability evaluation index system of mean-land coupling system of ecological immigrants in NingxiaProvince

目标层	系统层	要素层	指标层			
			内容	指标说明	指标属性	指标权重
宁夏生态移民人地耦合系统脆弱性评价	A1 暴露度	B1 移民素质	C1 家庭规模	反映家庭人口数量	负	0.002 8
			C2 家庭成员健康状况	健康记1;残疾或重病记0	负	0.025 4
			C3 65岁以上老人比重	反映老龄化及供养负担等,65岁以上人数/总人数	正	0.062 8
			C4 少数民族人口比重	反映人口构成复杂程度,少数民族人口数/总人口数	正	0.027 8
			C5 移民对政策的了解程度	完全不了解记0;不太了解记0.25;一般记0.5;了解一些记0.75;完全了解记1	负	0.007 7
		B2 社会保障	C6 最低生活保障率	享受低保的人数/总人数	正	0.039 8
			C7 医疗保险覆盖率	医疗保险参保人数/总人数	负	0.190 8
			C8 养老保险覆盖率	养老保险参保人数/总人数	负	0.187 2
			C9 失业保险覆盖率	享受失业保险的人数/总人数	负	0.001 9
			C10 工伤保险覆盖率	享受工伤保险的人数/总人数	负	0.001 2
	A2 敏感性	B3 经济系统	C11 家庭收入的稳定性	极不稳定记0;不稳定记0.25;一般记0.5;比较稳定记0.75;很稳定记1	负	0.006 7
			C12 非农性收入比重	家庭非农收入/家庭总收入	负	0.052 1
			C13 家庭人均纯收入	家庭总收入/家庭总人口数	负	0.002 7
		B4 社会系统	C14 邻里关系	经常打交道记1;偶尔打交道记0.5;不打交道记0	负	0.028 8
			C15 是否参加技能培训	参加记1;不参加记0	负	0.012 3
			C16 妇女地位提升(女性文化知识学习的程度)	不用上学记0;识字即可记0.2;完成义务教育即可记0.6;越高越好记1	负	0.054 0
		B5 生态系统	C17 生态感知	很不满意记0;不满意记0.25;一般记0.5;比较满意记0.75;很满意记1	负	0.010 3
			C18 风沙状况	有记1;没有记0	正	0.099 8
			C19 生活垃圾处理率	反映村容生态环境情况,有集体垃圾箱记1;无记0	负	0.060 1
	A3 适应能力	B6 自然资本	C20 家庭人均耕地面积	家庭总耕地面积/家庭总人口数	负	0.003 0
			C21 对土地质量满意度(温棚)	很不满意记0;不满意记0.25;一般记0.5;比较满意记0.75;很满意记1	负	0.008 3
		B7 物质资本	C22 家庭耐用消费品占家庭主要消费开支的比重	购买家电、车辆等耐用消费品金额/家庭主要消费开支的金额	负	0.006 3
			C23 家庭人均住房面积	家庭总住房面积/家庭总人口数	负	0.005 2
		B8 金融资本	C24 家庭借贷金额	钱数	正	0.076 7
			C25 是否获得贷款机会	有记1;无记0	负	0.005 1
		B9 社会资本	C26 是否参与社区组织	参与记1;不参与记0	负	0.008 8
			C27 社会权威(家庭成员中是否有村干部或公务员)	有记1;无记0	负	0.001 2
		B10 人力资本	C28 成年劳动力受教育程度	未上过学记0;小学记0.25;初中记0.5;高中或中专记0.75;大学及以上记1	负	0.002 1
			C29 家庭成年劳动力职业技能水平(是否有手艺)	有记1;无记0	负	0.009 1

述步骤,得出各指标的熵值。

2.3.2 函数模型评价法　函数模型评价法,用于脆弱性的各构成要素定量评价。综合指数法是目前脆弱性评价中运用较为广泛的一种方法,其操作简单便捷。本研究运用综合指数法[21],计算宁夏生态移民人地耦合系统脆弱性这一评价目标的暴露度、敏感性及适应能力。具体公式:

$$E = \sum_{i=1}^{10} w_i x_i \tag{6}$$

$$S = \sum_{i=1}^{9} w_i x_i \tag{7}$$

$$A = \sum_{i=1}^{10} w_i x_i \tag{8}$$

式中:E 表示暴露度指数、S 表示敏感性指数、A 表示适应能力指数;w_i 为第 i 项指标的权重值;x_i 为第 i 项指标数据的标准化值。

暴露度、敏感性和适应能力是脆弱性的三个基本特征,脆弱性与暴露度和敏感性成正比,与适应能

力成反比,通常暴露度与敏感性越大,系统脆弱性越大,而适应能力越强,系统脆弱性越小。因此,通过以上分析构建评价模型:

$$V = (E + S) - A \tag{9}$$

式中:V 是脆弱性指数、E 是暴露指数、S 是敏感指数、A 是适应能力指数。在指标数据标准化处理时,已经使得指标大小与脆弱性高低呈同向关系,所以 V 值越大,表明该样本的移民脆弱性越大。脆弱性与暴露度、敏感性成正比,与适应能力成反比,通常暴露度、敏感性越大,脆弱性越大,而适应能力越强,脆弱性越小,受外界损害的程度也越小。该方法基于对脆弱性的理解,在脆弱性评价的思路上与脆弱性内涵之间对应较强,能够体现脆弱性构成要素之间的相互作用关系,有利于解释脆弱性成因及特征,评价结果能够反映系统整体脆弱程度及脆弱性构成要素的情况。

3　结果与分析

3.1　脆弱性等级划分

目前,关于移民脆弱性的研究还较为少见,在脆弱性等级划分上尚未有明确标准。本文运用 ArcGIS 10.0 对不同区域样本村的脆弱性指数按自然断裂点法进行 5 个等级的集合分类,1 级到 5 级表示脆弱性指数由低到高排列,依次为低脆弱度、较低脆弱度、中脆弱度、较高脆弱度、高脆弱度(表 2)。

宁夏生态移民村平均脆弱性指数为 0.151 1,处于较强脆弱度状态。根据移民村脆弱性指数,按照自然断裂点法将移民村脆弱性分为 5 个级别。对移民村数量进行分级统计分析,发现处于较低脆弱度和中脆弱度的移民村数量居多,两类共占样本村总数的一半以上(54.67%),分别为 30.67% 和 24.00%;其次为较高脆弱度和高脆弱度的移民村,均为 14 个,各占 18.67%;处于低脆弱度的移民村仅有 6 个,占 8.00%;同时,高脆弱度移民村数量是低脆弱度移民村数量的 2 倍多。宁夏生态移民生存空间脆弱性状况呈现中间多两端少,且两端又极不平衡的状况,移民村在移民搬迁过程中出现了各种问题,并处于不同程度的脆弱性状态。处于低脆弱度的移民村大多位于南部山区,中部干旱带没有低脆弱度的移民村;较低脆弱度、中脆弱度及较高脆弱度的移民村均集中分布在北部引黄灌区,中部干旱带及南部山区分布相对较少;处于高脆弱度的移民村大多位于中部干旱带,其次为北部引黄灌区,南部山区分布较少。针对移民村整体脆弱性,按北部、中部、南部对不同脆弱级别的移民村分别进行统计,可看出区域之间差异明显。北部、中部、南部移民村平均脆弱性指数分别为 0.149 8、0.182 7 和 0.116 6(表 3)。

根据图 2,按照不同级别移民村来看,一级脆弱性的移民村集中分布在南部山区,所占比例为 66.67%,中部干旱带所占比例为 0;二级、三级、四

表 2　移民村脆弱性评价等级

Tab. 2　Vulnerability assessment level of immigration village

脆弱性分级		脆弱性指数	不同区域样本村数量			所占样本村总数比例 / %
			北部	中部	南部	
低脆弱度	一级	<0.045 9	2	0	4	8.00
较低脆弱度	二级	0.046 0 ~ 0.107 0	10	6	7	30.67
中脆弱度	三级	0.107 1 ~ 0.147 9	7	6	5	24.00
较高脆弱度	四级	0.148 0 ~ 0.212 8	6	5	3	18.67
高脆弱度	五级	0.212 9 ~ 0.435 4	5	7	2	18.67

表 3　宁夏生态移民不同地区各指标统计情况

Tab. 3　Statistics of indicators in different areas of ecological immigration in Ningxia Province

指标	北部引黄灌区		中部干旱带		南部山区	
	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
暴露度(E)	0.113 0	0.075 5	0.120 5	0.071 2	0.128 9	0.073 7
敏感性(S)	0.086 2	0.036 1	0.108 3	0.035 6	0.063 3	0.025 4
适应能力(A)	0.049 3	0.016 7	0.046 1	0.017 0	0.075 6	0.030 5
脆弱度(V)	0.149 8	0.083 6	0.182 7	0.098 9	0.116 6	0.077 0

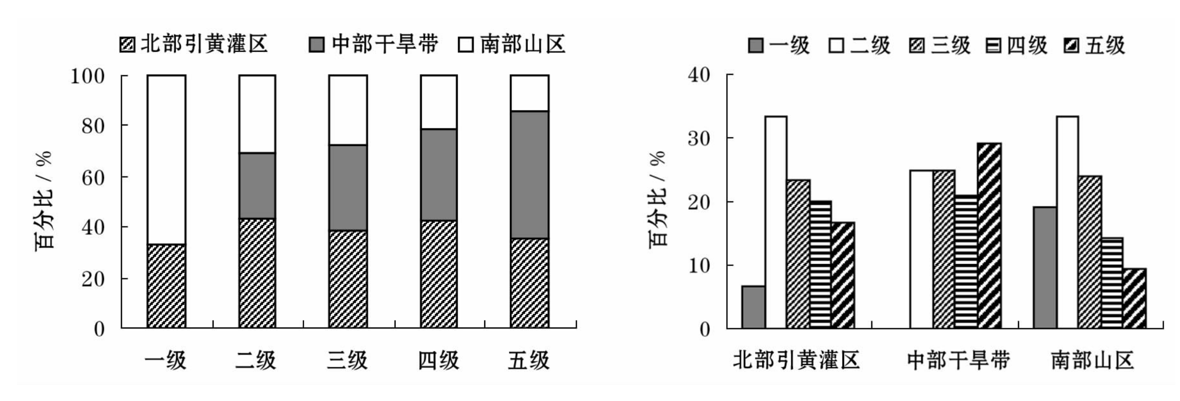


图 2　不同脆弱性级别和不同区域内部各级移民村分布情况

Fig. 2　Distribution of immigrant villages at different levels of vulnerability and within different regions

级脆弱性的移民村以北部引黄灌区为主,所占比例分别为 43.48% 、38.89% 和 42.86% ;五级脆弱性移民村主要分布在中部干旱带,所占比例达到一半为 50.00% 。按照北、中、南内部各级移民村所占比重来看,北部比重最高的是二级移民村,比重为 33.33% ,其次为三级、四级、五级,比重分别为 23.33% 、20.00% 、16.67% ,一级移民村分布最少;中部以五级移民村为主,比重为 29.17% ,三级和四级移民村所占比重相同,均为 25.00% ,没有一级移民村;南部也以二级移民村为主,比重达 33.33% ,其次是三级、一级、四级移民村,比重分别为 23.81% 、19.05% 、14.29% 。

3.2　暴露度、敏感性和适应能力分析

(1) 暴露度最高的区域为南部山区,暴露度指数达到 0.128 9,表现为家庭人口数量较多且 65 岁以上老人所占比重较大,同时,社会保障能力不强,移民医疗保险、养老保险、失业保险、工伤保险覆盖率较低。缺乏完善的社会服务与保障、农业发展落后以及生态环境产生的负面影响是导致当地暴露度最高的重要原因;其次为中部干旱带,暴露度指数为 0.120 5,大部分干地区旱缺水,且气候干燥多风,区域经济发展较为缓慢,少数民族人口所占比重较高;暴露度最低的区域为北部引黄灌区,暴露度指数为 0.113 0,主要源于该区地形平坦,交通便利,并且区内特色产业突出,工厂较多,解决了部分移民就业问题,一定程度上促进了其经济的发展,移民医疗保险覆盖率较高、家庭成员相对较健康。

(2) 敏感性最高的区域是中部干旱带,敏感性指数为 0.108 3,表明该区域生态敏感度高,自然环境相对较差,不稳定,生态脆弱,易受外界的胁迫和干扰,这与该区家庭收入稳定性差、家庭人均纯收入少、参加技能培训人数少、移民对居住区生态感知差密切相关;其次为北部引黄灌区,敏感性指数为 0.086 2,该区域经济发展迅速、社会较为稳定、生态环境相对较好,敏感指数适中,是宁夏生态移民主要的也是最早的安置区;南部山区的敏感性指数最低,仅为 0.063 3,表明该区生态环境稳定性较好,主要是因为该区退耕还林工程的实施,使得当地生态环境得到改善,水土流失得到有效防治,森林覆盖度逐渐增强,气候条件比较优越,降水量相对大,风沙较小,移民对居住区生态环境感知相对较好。

(3) 适应能力最强的区域是南部山区,适应能力指数达到 0.075 6,主要由于该区域移民安置方式以适度集中就近安置为主,这种安置方式下移民迁出县(区)在乡镇范围内,自然资本、物质资本、金融资本、社会资本和人力资本等生计资本相对较强,表现为家庭人均耕地面积较大,虽然政策上人均仅有一亩地(温棚),但移民老家原有的耕地并没有退耕,且距离较近,大部分移民都在耕种。同时,移民原有的地缘关系和亲缘关系并未发生巨大变化,具有较强的参与社区组织能力,即社区建设和社区管理,并能积极参与到相关的培训活动中;其次为北部引黄灌区,适应能力指数为 0.049 3,该区域地理位置优越、靠近城市、交通便利、经济发展较快、社会保障能力较强,但主要以开发土地集中安置为主,移民对周围环境较为陌生,适应能力相对较差;研究区适应能力最弱的区域为中部干旱带,适应能力指数仅为 0.046 1,表明该区人地系统应对环境变化的能力低,主要是因为该区域气候多变、自然灾害频繁,干旱少雨,盐碱化严重,人均耕地少,风沙较大(表 3)。

3.3　人地耦合系统脆弱性空间特征分析

根据宁夏三大区域生态移民的暴露度、敏感性、

应对能力与脆弱性，可以看出，宁夏生态移民人地耦合系统脆弱性整体较高，并在空间上呈现“中部高南北低”的地域分布特征（图3），脆弱性结构差异显著，脆弱性强度以及暴露度、敏感性和应对能力均差异较大。

具体而言，中部干旱带脆弱性程度最高，脆弱性指数为0.182 7，该区土地沙化问题突出，生态环境稳定性差，生态脆弱，易受外界的胁迫和干扰，敏感性最高，同时经济发展普遍滞后，贫困人口众多，人地系统自我调控和管理的能力有限，应对环境变化的能力最弱，形成较高脆弱度的人地关系地域系统；其次为北部引黄灌区，脆弱性指数为0.149 8，该区由于大部分为县外移民，属于开发土地集中安置，且多为劳务移民，社区环境状况较差，人口流动量大，同时，社区稳定性差，所以敏感性相对较高，北部引黄灌区在移民自身素质、社会保障、经济发展水平和基础设施等方面占据优势，暴露度最低，在抵御外来干扰时也能有较好的基础来应对，形成较高脆弱度的人地关系地域系统；南部山区脆弱程度最低，脆弱性指数为0.116 6，属于中度脆弱区，该区经济发展水平较低，基础设施不完善，社会保障水平低，暴露度较高，但随着生态移民和退耕还林工程的实施，生态环境得到极大改观，风沙较小、气候条件优越、移民对居住区生态环境较为满意，区域生态敏感性显著降低，因而其遭受灾损的程度和被外界胁迫的可能性较小，同时，南部山区多为县内移民，属于适度集中就近安置，移民适应能力优于其它区域，家庭成年劳动力职业技能水平（具有手艺）人数较多且移民能积极参与社区建设和社区管理，应对外界发展变化的能力最强，形成中脆弱度的人地关系地域系统。可见脆弱性的空间分异与社会经济发展水平空间差异并不严格一致。

3.4　主导因素分析

为了进一步明确制约宁夏生态移民脆弱性降低

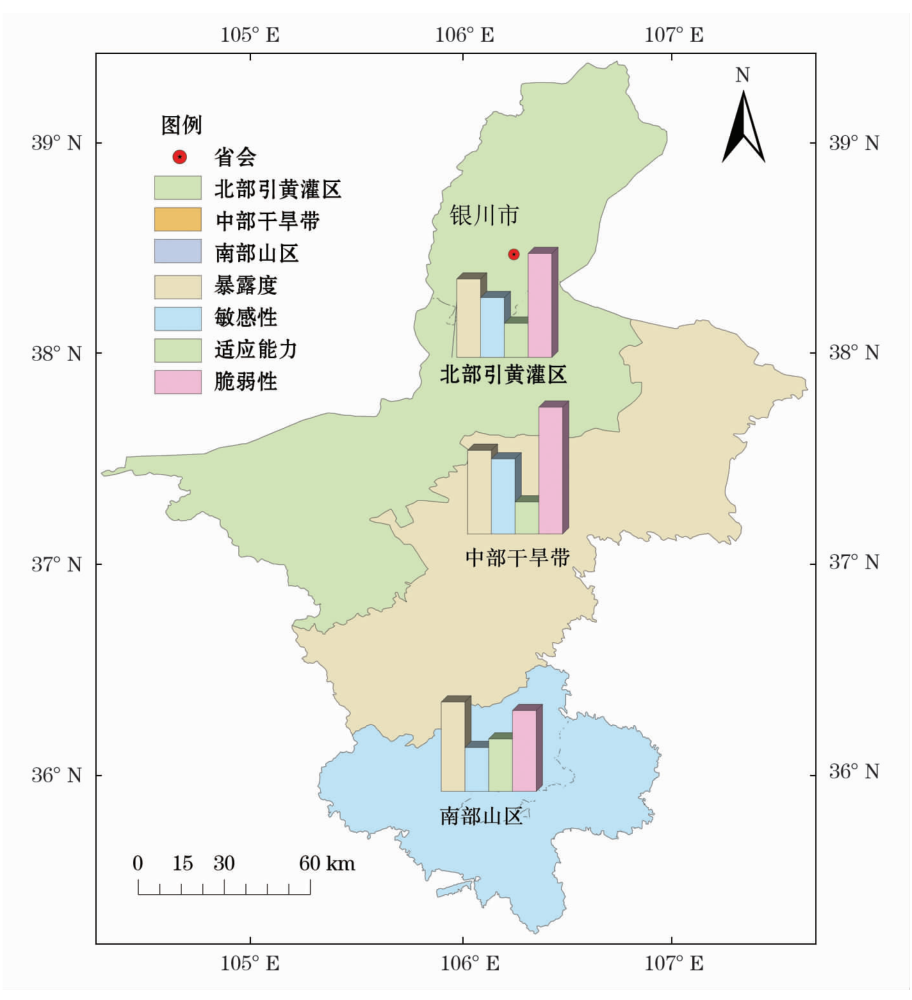


图3　宁夏生态移民人地耦合系统脆弱性空间分异图

Fig. 3　Spatial differentiation map of ecological immigrant man-land coupling system vulnerability of Ningxia Province

的主导因素,从而有针对性的制定宁夏生态移民脆弱性减缓措施。为此,本研究选取应对能力指标层,引入了障碍度模型[27]。公式:

$$Z_i = w_i d_i / \sum_{i=1}^{n} w_i d_i \times 100\% \quad (10)$$

式中:Z_i 为第 i 个指标对脆弱性的影响程度;w_i 为第 i 项指标的权重值;d_i 为第 i 项指标的标准化值。根据计算公式算出宁夏生态移民人地耦合系统脆弱性各评价指标的障碍度并以均值 0.1 为划分标准,找出应对能力的障碍因素及其出现的频率指标。出现频率越高的指标,对宁夏生态移民脆弱性应对能力提升的障碍度越高(表 4)。依次为成年劳动力受教育程度(C_{28})、家庭成年劳动力职业技能水平(是否有手艺)(C_{29})、是否参与社区组织(C_{26})、是否获得贷款机会(C_{25})、对土地质量满意度(温棚)(C_{21})、家庭借贷金额(C_{24})和家庭耐用消费品占家庭主要消费开支的比重(C_{22}),出现频率均高于 45.00%,说明以上指标对生态移民脆弱性应对能力的提升有着重要影响;家庭人均住房面积(C_{23})对应对能力的提升影响较小,出现频率为 20.00%;家庭人均耕地面积(C_{20})和社会权威(家庭成员中是否有村干部或公务员)(C_{27})出现频率为 0.00%,对宁夏生态移民脆弱性应对能力的提升无贡献。

4 结 论

(1) 宁夏生态移民脆弱性呈现明显的"级差化"分异特征,总体处于较强脆弱状态。根据移民村脆弱性指数,按照自然断裂点法将移民村脆弱性分为 5 个级别,无论是对移民村数量进行分级统计分析,还是按照不同脆弱性级别或不同区域内部各级移民村分布情况来看,均呈现出明显的地域差异性。

(2) 从空间格局来看,宁夏生态移民人地耦合系统整体较为脆弱,表现为宁夏中部干旱带生态移民 >北部引黄灌区 >南部山区,在空间上呈现"中部高南北低"的地域分布特征。暴露度表现为南部山区 > 中部干旱带 >北部引黄灌区;敏感性表现为中部干旱带 > 北部引黄灌区 > 南部山区;适应能力表现为南部山区 > 北部引黄灌区 > 中部干旱带。

(3) 成年劳动力受教育程度、家庭成年劳动力职业技能水平(是否有手艺)、是否社区建设和社区管理、能否获得贷款机会、土地质量满意度(温棚)和家庭借贷金额等是研究区人地耦合系统脆弱性的主导因素。

5 讨 论

(1) 宁夏生态移民安置脆弱性分布在空间上与宁夏 ERE 耦合度高度重合,脆弱性最低的南部山区 ERE 耦合度有所回升(高城市化区域除外),中部干旱带红寺堡移民区与北部引黄灌区城市化较高区域的 ERE 耦合度大幅度下降,其脆弱度也相对较高[28]。

(2)生态环境本地条件是影响宁夏生态移民安置区敏感性的主导因素。宁夏生态移民安置区脆弱度宁夏生态功能区亦有一定重合,特别是敏感性高低与宁夏三个生态功能区生态干旱强弱一致[29],干旱和水资源缺乏影响和制约了安置区社会经济发展。

(3)暴露度与适应性是安置模式、区域经济发展水平、城市化水平和社会保障完善程度等社会人文因素综合影响的结果。经济发展水平最低的南部山区暴露度最高,北部则最低;适应性最强的南部山区以集中就近安置方式为主,在生计来源、务工就业机会方面都优于北部集中连片,特别是适应性最弱的中部大规模集中连片安置区[30]。

降低暴露度与敏感性,提高适应能力,是减轻和消除宁夏生态移民安置区人地耦合系统脆弱性的基本思路。消除水资源制约,改善生态环境,转变土地利用方式,进一步完善安置区基础设施、社会保障和公共服务能力,提升移民自身生计能力,是降低脆弱度的基本途径。

本文对宁夏生态移民安置区人地耦合系统进行脆弱性分析、定量评价和影响因素研究,是基于实证的中—微观尺度人地关系集成研究。旨在解释人地

表 4 宁夏生态移民适应能力障碍因素

Tab. 4 The obstacle factor of Ningxia ecological immigration adaptive ability

适应能力指标	C_{20}	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{25}	C_{26}	C_{27}	C_{28}	C_{29}
频次 / 次	0	36	34	15	36	39	41	0	45	45
频率 / %	0.00	48.00	45.33	20.00	48.00	52.00	54.67	0.00	60.00	60.00

关系演变过程与机理,探索人地耦合系统可持续发展路径,对宁夏乃至西北民族地区生态移民的减轻贫困、生存质量提高、后续发展与社会和谐稳定提供建议和思考;但由于客观局限缺少了历史调研数据和动态监测,未能从时间尺度进行分析,在跨尺度应用中可能存在局限性,还需要结合宁夏本地生态移民实际情况进一步完善改进。

参考文献(References)

[1] 田亚平,向清成,王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J]. 地理研究,2013,32(1):55 - 63. [TIAN Yaping, XIANG Qingcheng,WANG Peng. Regional coupled human-natural systems vulnerability and its evaluation indexes[J]. Geographical Research,2013,32(1):55 - 63.]

[2] 刘小茜,王仰麟,彭健. 人地耦合系统脆弱性研究进展[J]. 地球科学进展,2009,28(8):917 - 927. [LIU Xiaoqian, WANG Yanglin,PENG Jian. Progress in vulnerability analysis of coupled human-environment system[J]. Advance in Earth Science,2009, 28(8):917 - 927.]

[3] ADGER W N. Vulnerability[J]. Global Environmental Chang, 2006,16(3):268 - 281.

[4] 哈斯巴根,李同昇,佟宝全. 生态地区人地系统脆弱性及其发展模式研究[J]. 经济地理,2013,37(4):149 - 154. [Hasibagen,LI Tongsheng,TONG Baoquan. Man-land system vulnerability and development model of ecological regions[J]. Economic Geography,2013,37(4):149 - 154.]

[5] TURNER B L I,KASPERSON R E,MATSON P A,et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences,2003,100(14): 8074 - 8079.

[6] MARINO E. The long history of environmental migration: Assessing vulnerability construction and obstacles to successful relocation in Shishmaref,Alaska[J]. Global Environmental Change,2012,22 (2):374 - 381.

[7] 苏飞,张平宇. 基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价[J]. 地理学报,2010,65(4):454 - 464. [SU Fei, ZHANG Pingyu. Vulnerability assessment of petroleum city's economic system based on set pair analysis: A case study of Daqing City[J]. Acta Geographica Sinica,2010,65(4):454 - 464.]

[8] 王岩,方创琳,张蔷. 城市脆弱性研究评述与展望[J]. 地理科学进展,2013,32(5):755 - 768. [WANG Yan,FANG Chuanglin,ZHANG Qiang. Progress and prospect of urban vulnerability [J]. Progress in Geography,2013,32(5):755 - 768.]

[9] 黄晓军,黄馨,崔彩兰,等. 社会脆弱性概念、分析框架与评价方法[J]. 地理科学进展,2014,33(11):1512 - 1525. [HUANG Xiaojun,HUANG Xin,CUI Cailan,et al. The concept,analytical framework and assessment method of social vulnerability[J]. Progress in Geography,2014,33(11):1512 - 1525.]

[10] 杨国安,徐勇,郭腾云. 基于脆弱性和可持续生计视角的黄土高原生态环境治理研究[J]. 水土保持研究,2010,17(2):64 - 69. [YANG Guoan, XU Yong, GUO Tengyun. Eco-environmental construction on the Loess Plateau based on the perspective of the vulnerability and sustainable livelihoods approaches [J]. Research of Soil and Water Conservation,2010,17(2):64 - 69.]

[11] 孙平军,修春亮. 东北地区中老年矿业城市经济系统脆弱性[J]. 地理科学进展,2010,29(8):935 - 942. [SUN Pingjun, XIU Chunliang. Analysis on vulnerability of the economic system of middle and old aged mining cities in northeast China[J]. Progress in Geography,2010,29(8):935 - 942.]

[12] 韩文文,刘小鹏,裴银宝,等. 不同地貌背景下民族村农户生计脆弱性及其影响因子[J]. 应用生态学报,2016,27(4):1229 - 1240. [HAN Wenwen, LIU Xiaopeng, PEI Yinbao, et al. Agro-household livelihood vulnerability and influence factors of ethnic villages under different geomorphology backgrounds[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2016,27(4):1229 - 1240.]

[13] 池文芳. 浙江省山区农户生计脆弱性研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2015. [CHI Wenfang. Research on livelihood vulnerability about farmers in Zhejiang Province [J]. Hangzhou:Zhejiang Agriculture and Forestry University,2015.]

[14] 史俊宏,赵立娟. 生计转型背景下生态移民生计脆弱性及其可持续生计途径[J]. 中国管理信息化,2012,15(15):46 - 48. [SHI Junhong,ZHAO Lijuan. Livelihood vulnerability of ecological immigrants and its sustainable livelihood approach in the context of livelihood transformation[J]. China Management Informationization,2012,15(15):46 - 48.]

[15] 苏飞,马莉莎,庞凌峰,等. 杭州市农民工生计脆弱性特征与对策[J]. 地理科学进展,2013,32(3):389 - 399. [SU Fei,MA Lisha,PANG Lingfeng, et al. Vulnerability of migrant workers' livelihoods in Hangzhou City and the countermeasures[J]. Progress in Geography,2013,32(3):389 - 399.]

[16] 杨美玲,李同昇,米文宝,等. 宁夏限制开发区生态脆弱性评价及分类发展模式[J]. 水土保持通报,2014,34(4):236 - 242. [YANG Meiling,LI Tongsheng,MI Wenbao,et al. Ecological fragile assessment and regional development model in regional development model in restrict development area of Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Bulletion of Soil and Water Conservation,2014, 34(4):236 - 242.]

[17] 王梅梅. 宁夏中部干旱带生态脆弱性评价[D]. 银川:宁夏大学,2013. [WANG Meimei. Eco-environmental vulnerability evaluation on the middle arid belt of Ningxia Autonomous Region[D]. Yinchuan:Ningxia University,2013.]

[18] 郭永杰,米文宝,赵莹,等. 回族聚居限制开发区经济系统脆弱性研究——以宁夏同心县为例[J]. 水土保持研究,2014,21 (4):290 - 294. [GUO Yongjie,MI Wenbao,ZHAO Ying,et al. Research on economic vulnerability of limited developing zones of Hui nationality:A case study of Tongxin County of Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014,21(4):290 - 294.]

[19] 薛晨浩,邓慧丽,苗红,等. TOPSIS 视角下西北生态移民社区自然灾害社会脆弱性评价——以宁夏为例[J]. 开发研究,2016,

183(2):90－94.[XUE Chenhao,DENG Huili,MIAO Hong,et al. Evaluation on the social vulnerability of natural disasters in the northwest eco-immigration community from the perspective of TOPSIS:Taking Ningxia as an example[J]. Research on Development,2016,183(2):90－94.]

[20] 谭灵芝,王国友,马长发. 气候变化对干旱区居民生计脆弱性影响研究——基于新疆和宁夏两省区的农户调查[J]. 经济与管理,2013,27(3):10－16.[TAN Lingzhi,WANG Guoyou,MA Changfa. Effictive livelihood adaptation to climate change disturbance:Based on Xinjiang and Ningxia' social survey[J]. Economy and Management,2013,27(3):10－16.]

[21] 宋永永,米文宝,仲俊涛,等. 宁夏限制开发生态区人地耦合系统脆弱性空间分异及影响因素[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(11):85－91.[SONG Yongyong,MI Wenbao,ZHONG Juntao,el at. Spatial differentiation and its factors for coupled human-environment systems vulnerability in limited developing ecological zone[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2016,30(11):85－91.]

[22] 苏芳,郑亚萍. 甘南牧区劳动力转移背景下留守农户生计策略选择[J]. 干旱区地理,2018,41(4):826－832.[SU Fang,ZHENG Yaping. Livelihood strategy selection of the left-behind households under the background of labor transfer in Gannan pastoral area[J]. Arid Land Geography,2018,41(4):826－832.]

[23] 邓慧丽,苗红,孔云霄,等. 宁夏生态移民家庭碳足迹调查与影响因素研究[J]. 水土保持研究,2016,23(4):154－160.[DENG Huili,MIAO Hong,KONG Yunxiao,et al. Research on carbon footprint of eco-migration family and its influence factors in Ningxia[J]. Research of Soil and Water Conservation,2016,23(4):154－160.]

[24] 刘学武. 宁夏生态移民无土安置区风险评估研究[J]. 地域研究与开发,2016,35(5):175－180.[LIU Xuewu. Risk assessment in the farm landless resettlement area for ecological migrants in Ningxia [J]. Areal Research and Development,2016,35(5):175－180.]

[25] 马金涛. 宁夏女性生态移民社会适应性研究[D]. 银川:宁夏大学,2015.[MA Jintao. A study on social adaptation of female ecological immigrants in Ningxia [D]. Yinchuan:Ningxia University,2015.]

[26] 倪宁,张少泉,陈晓云,等. 基于熵权法和模糊层次分析法的审计风险评估[J]. 软件,2018,39(10):254－259.[NI Ning,ZHANG Shaoquan,CHEN Xiaoyun, et al. Audit risk assessment based on entropy method and fuzzy analytic hierarchy process[J]. Computer Engineering & Software,2018,39(10):254－259.]

[27] 张一达,刘学录,范亚红,等. 基于改进 TOPSIS 法的兰州市土地利用多功能性评价[J]. 干旱区地理,2019,42(2):444－451.[ZHANG Yida,LIU Xuelu,FAN Yahong, et al. Multi-functional evaluation on land use in Lanzhou City based on the improved TOPSIS[J]. Arid Land Geography,2019,42(2):444－451.]

[28] 冯骁,高桂英,杜灵通. 宁夏经济—资源—环境的耦合时空特征研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2018,39(4):380－384.[FENG Xiao,GAO Guiying,DU Lingtong. Research on coupling spatial-temporal feature of economy-research-environment in Ningxia[J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition),2018,39(4):380－384.]

[29] 杜灵通,刘可,胡悦,等. 宁夏不同生态功能区 2000—2010 年生态干旱特征及驱动分析[J]. 自然灾害学报,2017,26(5):149－156.[DU Lingtong,LIU Ke,HU Yue,et al. Ecological drought characteristics and analysis of driving factors of different ecological zones in Ningxia from 2000 to 2010[J]. Journal of Natural Disasters,2017,26(5):149－156.]

[30] 畅冬妮. 宁夏生态移民不同安置方式的减贫效果比较分析[D]. 临汾:山西师范大学,2017.[CHANG Dongni. A comparative analysis of poverty reduction effect of different ecological resettlement in Ningxia[D]. Linfen:Shanxi Normal University,2017.]

Vulnerability analysis of human-earth coupling system in Ningxia ecological resettlement area

MIAO Hong,　JIA Fei,　GENG Yi-rui,　KONG Yun-xiao,　DENG Hui-li
(*College of Resources and Environmental Science, Ningxia University, Yingchuan* 750021, *Ningxia, China*)

Abstract: Since 1980s, considering the global climate change and under the pressures of environment and poverty, the Chinese government has conducted environmentally-induced migration projects in areas with fragile environment. After 2000, the government transferred its emphasis from poverty relief to environmental protection and reservation. The Ningxia Hui Autonomous Region is an important ecological preservation and migration project implemented in the northwest of China. From 1982 to 2015, Ningxia has moved and resettled about one million (1 000 000) people and is planning to move more than eighty thousand people in the coming 13th Five-Year-Plan period (2016 –2020). The Ningxia Hui Autonomous Region (case study) is surrounded from the west, north, and east by the Tengger Desert, Ulan Buh Desert, and Mu Us Sandland, respectively. From south, it is connected to the loess plateau, a very important ecological barrier in the northwest. The south mountainous area and the middle arid area of Ningxia are the main out-migration areas. The fragile ecological conditions, lack of water, and water and soil erosion together induced low capacity, and the population overload has led to severe poverty. The Liupan Mountain area in the south is one of the 16 China's Key Poverty Reduction Regions. With half of the out-migration population from the Hui ethnic group, the environment-induced migration and resettlement in Ningxia are facing the pressures of ecological preservation, poverty reduction, ethnic development, and social harmony. In December 2015 and May to June 2016, interviews and surveys were conducted about migrants in Ningxia, covering 75 resettlement villages including four resettlement modes, Hui people village, Han people village, and Hui-Han mixed villages. Based on the survey data, the Vulnerability Scoping Diagram (VSD) was used in this paper to build an evaluation index system to assess the combined human-land system in the ecological resettlement area of Ningxia. It included three levels of exposure, sensitivity, and adaptability, and a total of 29 indicators. The entropy method, comprehensive index method, vulnerability function model evaluation method, and obstacle model method were used to analyze the overall situation and spatial characteristics of vulnerability in the ecological migrant human-earth coupling system of Ningxia and to identify the main obstacle factors. Also, the impacts of vulnerability features and spatial heterogeneity were quantified by the function and obstacle models. The results showed that the fragility of ecological migrants in Ningxia spatially presents a geographical distribution of "central area is high, north, south and north area are low" in a spatial pattern . The vulnerability of ecological migrants in the central arid region is generally higher than that in the northern Yellow River Irrigation District and southern mountains. The educational level of the adult labor force and their occupational skill level in the family, participation in the community construction and management, availability of loan opportunities, satisfaction with land quality (warm sheds), and the number of household loans are the dominant obstacles. The fragility of ecological migrants´man-land coupling system in Ningxia is the result of the combined effects of the individual's internal and family factors and the external environment. The internal factors affecting the fragility of ecological migrants´man-land coupling system in Ningxia are mainly reflected in the livelihood capital such as human capital, financial capital, social capital, and natural capital. The external environmental factors are mainly reflected in four aspects: economic development level, infrastructure, ecological environment, and social relations. The vulnerability research is a new type of research paradigm in the field of global environmental change and sustainable development research. It is also one of the seven major topics of the "Global Human Factors Plan for Global Environmental Change." Since the phenomenon of ecological migration, the migrants have begun to have different degrees of influence on natural environment and social life. This paper aims to (1) analyze the exposure, sensitivity, and adaptability of ecological migrants in a rapidly changing environment, (2) evaluate the vulnerability of man-land coupling systems, and (3) discuss the strategies to reduce or eradicate vulnerability. It attempts to provide some research supports for promoting the sustainable development of ecological migration and alleviating its adverse effects. It also provides a theoretical reference for precise poverty alleviation, social harmony, and stable development in Ningxia and even the western regions.

Key words: Ecological immigrants; Vulnerabilities; The man-land coupling system; Ningxia